

POLYCRYSTAL SEMICONDUCTOR FILM, METHOD FOR MANUFACTURING POLYCRYSTAL SEMICONDUCTOR FILM AND THIN FILM SEMICONDUCTOR DEVICE WHICH USES IT

Patent number: JP2003163167 (A)

Publication date: 2003-06-06

Inventor(s): YAMAGUCHI HIROKATSU; OGATA KIYOSHI; TAMURA TAKUO; HATANO MUTSUO; TAKEDA KAZUO; ORITSUKI RYOJI; SAITO MASAKAZU

Applicant(s): HITACHI LTD

Classification:

- **international:** H01L21/20; H01L21/268; H01L21/336; H01L29/786; H01L21/02; H01L29/66; (IPC-7): H01L21/20; H01L21/268; H01L21/336; H01L29/786

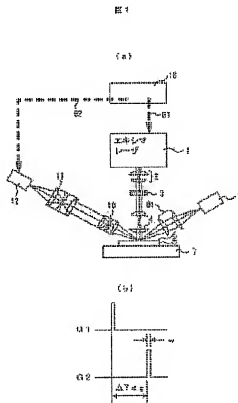
- **europaen:**

Application number: JP20020102633 20020404

Priority number(s): JP20020102633 20020404; JP20010276753 20010912; JP20010276849 20010912

Abstract of JP 2003163167 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To facilitate the control of anneal condition by monitoring a laser anneal process in-situ. ; **SOLUTION:** An optical system to observe the condition of a surface which a laser beam irradiates and a laser beam irradiation system are installed. A crystallization speed and crystallization time and the like are obtained by the time-sharing measurement of the reflection coefficient image of a silicon film. ; **COPYRIGHT:** (C) 2003,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-163167

(P2003-163167A)

(43)公開日 平成15年6月6日(2003.6.6)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

FI

チーアット* (参考)

H O 1 L 21/20

H0 1 L 21/20

5 F 0 5 2

21/268

21/268

5 F 1 1 0

21/336

29/78

627G

29/786

618Z

審査請求 未請求 請求項の数17 OL (全 18 頁)

(21)出願番号 特願2002-102633(P2002-102633)

(71)出願人 000005108

(22) 出願日 平成14年4月4日(2002.4.4)

株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(31) 優先權主張番号 特願2001-276753(P2001-276753)

(72)発明者 山口 裕功

(32)優先日 平成13年9月12日(2001.9.12)

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内

(33)優先権主張国 日本(JP)

(72) 發明者 尾形 潔

(31) 優先権主張番号 特願2001-276849(P2001-276849)

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株
式会社日立製作所生産技術研究所内

(32) 優先日 平成13年9月12日(2001.9.12)

式会社日立製作所生産技術研究所内

(33)優先権主張国 日本(JP)

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男 (外2名)

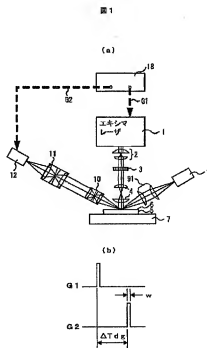
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多結晶半導体膜、多結晶半導体膜製造方法及びそれを用いた薄膜半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 シリコン膜のレーザアニール過程を *in-situ* に観測し、アニール条件の制御を容易にする。

【解決手段】 レーザ光が照射された個所の表面状態を観測するための光学系をレーザ光照射光学系と併設する。シリコン膜の反射率イメージを時分解測定することにより、結晶化速度、結晶化時間等を求める。



【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも基板と、該基板上に成膜された絶縁膜と、該基板上に成膜された半導体膜と、及び該基板上に成膜されたゲート電極とを有する薄膜半導体素子と、該半導体薄膜の結晶粒径の平均値に対する標準偏差の比が、正方向で100%、負方向で50%以下であることを特徴とする薄膜半導体素子。

【請求項2】少なくとも基板と、該基板上に成膜された絶縁膜と、該基板上に成膜された半導体膜と、該基板上に成膜されたゲート電極とを有する薄膜半導体素子の半導体膜と、該半導体薄膜の粒径が0.25μm以上の結晶の占める面積が90%以上であることを特徴とする半導体膜。

【請求項3】少なくとも基板と、該基板上に成膜された絶縁膜と、該基板上に成膜された半導体膜と、該基板上に成膜されたゲート電極とを有する薄膜半導体素子の半導体膜と、該半導体薄膜の粒径が0.5μm以上の結晶が90%以上を占め、かつ該0.5μm以上の結晶と、結晶粒径の平均値に対する標準偏差の比が、正方向で100%、負方向で50%以下であることを特徴とする半導体膜。

【請求項4】少なくとも基板と、該基板上に成膜された絶縁膜と、該基板上に成膜された半導体膜と、該基板上に成膜されたゲート電極とを有する薄膜半導体素子の半導体膜と、該半導体膜の平均粒径が1.0μm以上であり、かつ粒径が0.25μm以下の結晶が占める面積が5%以下であることを特徴とする半導体膜。

【請求項5】上記各請求項記載の半導体膜は少なくともシリコン、ゲルマニウム、またはゲルマニウムとシリコンの混合物を含むことを特徴とする半導体膜。

【請求項6】基板上のアモルファス半導体膜にエキシマレーザ光を照射して多結晶半導体膜を製造する方法であって、該基板に照射される該エキシマレーザ光の時間プロファイルに現れる複数のピークの強度比を求める工程と、該ピークの強度比が経時的に変化するものに伴い、該光アッテネータの透過率を制御する工程とを備えることを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項7】基板のアモルファス半導体膜にエキシマレーザ光を照射して多結晶半導体膜を製造する方法であって、該エキシマレーザ光を照射することによって形成される結晶粒径または結晶配向と、該基板に照射される該エキシマレーザ光の時間プロファイルに現れる複数のピークの強度比との相関を求める工程と、該エキシマレーザ光の時間プロファイルに現れる複数のピークの強度比が経時的に変化するものに伴い、該結晶粒径または該結晶配向が一定となるよう、該光アッテネータの透過率を制御する工程とを備えることを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項8】請求項6記載の多結晶半導体膜製造方法において、

上記光アッテネータの透過率の制御は、上記半導体膜に照射されるエキシマレーザ光の時間プロファイルのうち、最初の極大から40nsまでの積分強度が一定となるように行うものであることを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項9】基板上のアモルファス半導体膜に該基板より小さい長方形に整形したエキシマレーザ光を照射して走査し多結晶化を行う工程と、該エキシマレーザ光の時間プロファイルに現れる複数のピークの強度比が基準値を越えた時点で該エキシマレーザ光の光源のガスを交換することを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項10】請求項6記載の多結晶半導体膜製造方法において、各エキシマレーザ光の照射回毎に該複数のピークの強度比が基準値を超えているか否かの確認を行う工程を設け、該エキシマレーザ光を照射する工程は、該長方形に整形された該エキシマレーザ光の短辺の長さより短いステップで走査を行うことにより、基板上の同じ箇所に複数回エキシマレーザ光を重畳して照射し結晶化を行うことを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項11】請求項7記載の多結晶半導体膜製造方法において、該結晶の融合状態は半導体膜の反射率を時分分解で測定して求めることを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項12】請求項7記載の多結晶半導体膜製造方法において、該半導体膜の反射率は、2つ以上の波長領域で測定し、両者の比から結晶とアモルファスの比率または結晶の融合状態を求めることを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項13】請求項7記載の多結晶半導体膜製造方法において、該2つ以上の波長領域で測定した反射率の比から求めた、該結晶と該アモルファスの比率または結晶の融合状態の、レーザ光照射時刻からの経過時間に対するプロファイルから結晶化時間または結晶群の融合時間を求める工程を設けることを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項14】請求項7記載の多結晶半導体膜製造方法において、該結晶化時間と該結晶群の該融合時間と、結晶化終了後の結晶粒径または粒径ばらつきとの相関を求める工程を設け、該結晶粒径が最大、または該結晶粒径ばらつきが最小となるよう、該結晶化時間と該結晶群の該融合時間を設定することを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項15】請求項7記載の多結晶半導体膜製造方法において、該結晶化時間または該結晶群の該融合時間と、該エキシマレーザ光の該時間プロファイルに現れる複数のピークの強度比との相関を求める工程を設け、該結晶粒径が最大、または該結晶粒径ばらつきが最小となるよう、該複数のピークの強度比を設定することを特徴

とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項 16】請求項 14 または 15 記載の多結晶半導体膜製造方法において、各エキシマレーザ光の照射回毎に該結晶化時間と該結晶群の該融合時間の設定、または複数のピークの強度比の設定を行う工程を設け、該エキシマレーザ光を照射する工程は、該長方形に整形された該エキシマレーザ光の短辺の長さより短いステップで走査を行うことにより、基板上の同じ箇所にも複数回エキシマレーザ光を重畳して照射し結晶化を行うことを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【請求項 17】請求項 15 記載の多結晶半導体膜製造方法において、該複数ピークの強度比の設定は、エキシマレーザ光源の回路定数またはエキシマガス成分の分圧の制御により行うことを特徴とする多結晶半導体膜製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、結晶半導体膜の導電率等の特性を向上させるための好適な成膜方法を用いた結晶半導体薄膜及びその製造方法及びそれを用いた薄膜半導体素子に係り、特に、結晶シリコン等の薄膜の形成プロセスとして、アモルファス薄膜にエキシマレーザ等を照射してアニールする技術に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、パーソナルコンピュータや情報端末機器等に用いられる液晶ディスプレイパネルの高精細化や迅速化を目的として、薄膜トランジスタ等に用いられる結晶シリコン膜のプロセス開発が各社で進められている。結晶シリコン膜の製造方法としては、「フラットパネル・ディスプレイ 2001」（日経 B P 社）などに記載されているように、基板上に成膜したアモルファスシリコンにエキシマレーザ光を照射して、結晶化させることが広く行われている。

【0003】結晶シリコン膜の移動度等電気特性は結晶粒径に大きく依存するため、各社において大粒径化の制御手法の研究が行われている。その例として、特開 2000-133614 号公報、特開平 10-144621 号公報、特開平 10-12950 号公報、及び特開 2001-338892 号公報に記載の技術がある。

【0004】特開 2000-133614 号公報にはレーザ光照射により結晶化したシリコン膜の結晶化状態を、膜の光沢度によって確認する手法について記載されている。特開平 10-144621 号公報にはレーザ光照射によりシリコン膜の結晶化を行う過程において、反射光又は透過光の時間プロファイルを設定する手法と、この手法により、シリコン膜の結晶性を向上させる手法について記載されている。特開平 10-12950 号公報にはエキシマレーザの放電回路の回路定数を可変とすることでレーザのパルス幅を可変とする手法、及びこれによるシリコン膜の結晶性の最適化に関して記載されて

いる。特開 2001-338892 号公報にはエキシマレーザ光の複数のピーク群間の強度比を規定することにより、シリコン膜の結晶性を最適化する手法について記載されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記したように、結晶の大粒径化のための結晶化制御について種々の手法が行われている。しかし、これらの技術には次のような問題があることがわかった。

- 10 【0006】特開 2000-133614 号公報及び特開平 10-144621 号公報記載の技術は光を用いてシリコン膜の結晶状態をモニタするものである。ところが、シリコン膜の膜厚や基板の光学的特性は半導体装置の製品毎に種々異なる。これらの特性により光の反射率や透過率は容易に変化するで、この従来技術ではその製品にも適用するには困難がある。また、レーザ光の照射条件、基板温度、雰囲気等の結晶化条件により、シリコン膜表面に凹凸が生じる。これは乱反射を起こすため、膜の光沢度から結晶状態をモニタするのは困難である。
- 20 【0007】特開平 10-12950 号公報及び特開 2001-338892 号公報記載の技術はレーザ光のパルス波長の制御に関するものである。ところで、エキシマレーザはガスの劣化のために、経時的に波形が変化する。これはシリコン膜の結晶状態が不均一性となる原因となるが、これらの従来技術ではこの不均一性を解消する方法については述べられていない。

- 30 【0008】本発明の目的は、膜厚や基板の光学的特性、膜表面の凹凸の影響を受けにくく、どのような製品のシリコン膜にも適用可能な結晶状態のモニタ手法を提供し、シリコン膜の結晶化の制御を可能にする技術を提供することにある。

- 【0009】本発明の他の目的は、エキシマレーザ光の波長の経時的変化によるシリコン膜の結晶性の不均一を解消する技術を提供することにある。

【0010】

- 【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、シリコン膜の反射光スペクトルが結晶状態のほかに、膜厚や下地基板の光学特性により異なることに着目し、バンドパスフィルタを用いて特定の波長の光を顕微鏡することにより、反射率の変化の各要因を識別できるようにした。これにより、結晶粒径の指標である結晶の融合状態の情報だけを抽出することができるようにした。

- 40 【0011】また、上記他の目的を達成するために、エキシマレーザの波形が経時的に変化していくのにもなる結晶化への影響を打ち消すように、レーザ光路に入れた光アッテネータの減衰率を変えていくようにフィードバックを行った。

【0012】

- 【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、幾つかの実施例を用い図を参照して説明する。以下、本発

明の第1の実施例を、図1〜5を用いて説明する。図1は本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザ照射及び測定装置の第1の実施例を示す構成図及びタイミングチャートであり、図1(a)はレーザ照射及び測定装置の構成図を示し、図1(b)はレーザの照射タイミングと観測タイミングを示すタイミングチャートである。図1(a)において、1はエキシマレーザ源、2はビームエキスパンダ、3はビームホモジナイザ、4はレーザ照射光学系、5は基板、6はシリコン膜、7はステージ、8は遅延信号発生器、9は光源、9.1は照明光学系、10は対物レンズ、11は集光レンズ、12は光検出器、9.1は照明光学系である。図1(b)において、G1及びG2は遅延信号発生器8から出力されるゲート信号であり、ゲート信号G1に対してゲート信号G2は時間 $\Delta T d g$ 分だけ遅延されている。即ち、エキシマレーザ源1が放射された後、 $\Delta T d g$ 時間経過後に光検出器12でシリコン膜6からの光を検出するように構成されている。

【0013】エキシマレーザ源1から出た光は、ビームエキスパンダ2、ビームホモジナイザ3、及びレーザ照射光学系4により、強度分布の均一化と整形を行った後、シリコン膜6に照射される。これにより、シリコン膜の結晶化が行われる。

【0014】また、本実施例では、光源9からの光は照明光学系9.1によりシリコン膜6の表面に照射される。反射光は対物レンズ10と集光レンズ11により、光検出器12に結像される。照明光学系9.1及び対物レンズ10の光路は、レーザ照射光学系4の光路とは異なる角度でシリコン膜6に入射及び出射するようにし、かつエキシマレーザ光とシリコン膜6上で交差するように配*30

$$\Delta T m e a s = \Delta T d g + \Delta T d e t - \Delta T e x \cdots \cdots (数1)$$

ここで、光路長による光の遅延時間は無視できるとし *

$$\Delta T d g = \Delta T m e a s + \Delta T e x - \Delta T d e t \cdots \cdots (数2)$$

であり、 $\Delta T e x$ と $\Delta T d e t$ が既知であれば、所望の $\Delta T m e a s$ となるように $\Delta T d g$ を設定することができる。

【0017】図2はシリコン膜の結晶化状態を示す図である。今、シリコン膜6を有する基板5がステージ7上に搭載され、ステージ7は図に向かって右側の方に移動していると仮定する。図において、10.1はエキシマレーザであり、現在の照射状態が示されている。従って、基板5の右側はすでにエキシマレーザが照射されており、結晶化されている。6.3は結晶化されている部分を示す。6.2の部分は結晶化が途中の段階である部分を示している。6はシリコン膜であり、まだエキシマレーザ10.1が照射されていない。

【0018】図3はシリコン膜の反射スペクトル及び光源の光のスペクトルを示す特性図であり、横軸に波長 λ を、縦軸に反射率 R 及びフィルタの透過率 T を示す。図において、特性曲線1aはアモルファスシリコンの反射

* 置する。これにより、エキシマレーザ照射後のシリコン膜6の結晶化が進行する過程において、光反射率を測定することが可能である。

【0015】光検出器12としては、イメージセンシングファイバ付CCDが最も好適である。これは、ゲート信号G2を入力することにより、ゲート信号G2のバルス幅 W に相当する時間、即ち10 ns以下の高速度ゲートタイミングを行うことができ、しかも短い露光時間でも高感度な測定を行うことができる。また、 1024×1024 ピクセル程度の面測定を行うことができるので、シリコン膜6からの反射光の像を1回の露光で測定し、アモルファス領域と結晶領域とを識別することが可能である。図1(a)の対物レンズ10と結像レンズ11との焦点距離の比を100とすると、像倍率は100倍となる。イメージセンシングファイバ付CCD検出器12のピクセルサイズを $14 \mu m$ とすると、1ピクセルあたりのシリコン膜の領域は $0.14 \mu m$ となる。実際には、光の回折限界のため、解像度は $0.5 \sim 1 \mu m$ 程度である。

【0016】図1(b)は、前述したように、ゲート信号G1とG2のタイミングを示したものである。ゲート信号G1とG2との時間差 $\Delta T d g$ 及びバルス幅 w は遅延信号発振器8により可変できる。ここで、ゲート信号G1の発生からエキシマレーザ源1の光が出るまでの遅延時間を $\Delta T e x$ 、ゲート信号G2の発生から光検出器12の露光までの遅延時間を $\Delta T d e t$ とすると、シリコン膜6にエキシマレーザ光が照射されてから光検出器12の露光までの経過時間 $\Delta T m e a s$ は(数1)で表される。

スペクトルを、特性曲線1cは結晶シリコンの反射スペクトルである。1aは 450 nm 付近に、1cは 550 nm 付近にピークを持つ。本実施例における、光源9の光のスペクトルはT aまたはT cのいずれかとした。スペクトルT aは $430 \sim 470 \text{ nm}$ に、T cは $515 \sim 585 \text{ nm}$ に台形状のピークを持つ。これらの光は、光源9の出口にT a及びT cの特性を持つバンドパスフィルタを設けることによって得られるので、図では、フィルタの透過率Tとして示した。本実施例では、光のスペクトルT aまたはT cの光を用いることにより、アモルファスシリコンと結晶シリコンとの識別を高コントラストで行うことが可能である。図3から明らかなように、曲線1cと1aのクロスポイントC Pを境に、曲線1cと1aの反射率が明確に異なることが分かる。スペクトルT aの光をシリコン膜6に照射した場合、結晶シリコンのスペクトル1a反射率の方がアモルファスシリコンのスペクトラム1cの反射率より高く、スペクトルT c

の光をシリコン膜6に照射した場合、結晶シリコンのスペクトル1c反射率の方がアモルファスシリコンのスペクトラム1aの反射率より高くなる。よってこの反射率から結晶化率に分かる。

【0019】ところでシリコンの反射率スペクトルは、シリコンの膜厚や下地基板の光学的特性によって変わる。そこで、あらかじめアモルファスシリコンと結晶シリコンの反射率スペクトル1a、1cを測定し、これらのピーク波長に合せて光源9のスペクトルTa、Tcを選べば、どのような場合でも結晶化の観測を行うことが可能である。

【0020】図4は図1(a)に示す装置を用いた測定動作の一実施例を示すフローチャートである。これは、エキシマレーザ光をシリコン膜6へ照射する毎に、(数1)及び(数2)に示す、シリコン膜6にエキシマレーザ光が照射されてから光検出器12の露光までの経過時間 ΔT_{meas} を時間ステップ Δt ずつ増加させていきながら、各照射毎にシリコン膜6の反射光の像を取り込むものである。図において、ステップ301でステージを原点に移動させる(この場合、照明光学系91にミラーを設け、このミラーを動かしてシリコン膜の原点に移動させても良い)。ステップ302でレーザ光の照射回数Nが0であることを確認して、ステップ303で、 ΔT_{meas} が $\Delta t \times N$ となるように、即ち ΔT_{dg} を $\Delta t \times N + \Delta T_{ex} - \Delta T_{det}$ に設定する。この初期値は0である。ところで、一般にエキシマレーザアニールでは、レーザ光を多重照射して段階的に結晶させることが行われる。レーザの照射回数が多重照射の回数 N_{first} に達するまでは測定を行わないため、ステップ304で、Nが N_{first} より少ない場合、即ちYesの場合、ステップ305で、ゲート信号G1を出力してエキシマレーザ光を射出するが、測定のために光検出器12を動作させるためのゲート信号G2は発生されない。ステップ304でNが N_{first} より大きい場合、即ちNoの場合にはステップ306に移行する。測定はNstep回おきに行われるため、ステップ306でN/Nstepが整数でない場合には測定を行わないため、ステップ305に移行する。ステップ306でYesの場合、ステップ307で、まず、ゲート信号G1を発生して、エキシマレーザ源1を駆動して、レーザ光を放射し、 ΔT_{dg} 後にゲート信号G2を発生して光検出器12の露光を行い、データの取り込みを行う。ステップ308で光検出器12から得られたデータをメモリに保存する。ステップ309で、レーザの照射回数がNに達した場合、1をインクリメントする。ステップ310で、エキシマレーザ光の照射毎にシリコン膜の照射位置を変えするために、ステージを ΔL だけ移動させる。ステップ311で、測定または観測すべき回数、即ちステージを ΔL ずつ移動させて測定し、試料の全面積の測定が完了したか否かを判定する。Nが N_{max} より少ない場合、

即ちYesの場合、再度 ΔT_{dg} を設定して測定を繰り返す。ステップ311で全ての測定が終わった場合、即ちNoの場合、測定を終了する。

【0021】図5は測定したデータの一実施例を示す図である。時間ステップ Δt は20ns、ゲート信号G2のパルス幅、即ちゲート時間 τ_w は10nsとした。また、Aは光源9を、バンドパスフィルタを通してえたスペクトラムTaの光をシリコン膜6に照射した場合の観測結果であり、Cは光源9を、バンドパスフィルタを通してえたスペクトラムTcの光をシリコン膜6に照射した場合の観測結果である。また、縦方向の各列は ΔT_{meas} を20nsから200nsまでの各値に対応する。エキシマレーザ光照射後60nsまでは、Ta、Tcとも反射率が高い。これは、シリコンが溶融していることを表している。70nsから以降は、Taの反射率は小さくなり、Tcの反射率は大きくなっていく。これは結晶化が進んでいることを表している。このように、本発明によれば、エキシマレーザアニールによる結晶化過程をin situに追跡することが可能である。

【0022】なお、本実施例では光検出器12としてイメージインテンシファイヤ付CCDを用いたが、1次元の分布測定でよい場合は、イメージインテンシファイヤ付フォトダイオードレイで代用できることは勿論である。また、フォトンカウンティングレベルの非常に微弱な光を検出可能な、位置敏感型フォトマルチプライヤを用いても同じ効果が得られることは勿論である。

【0023】次に、本発明の第2の実施例について図6をもちて説明する。

【0024】図6は図5の反射光強度を像の全体にわたって積分した値を示した特性図である。横軸はエキシマレーザ光照射から検出器12の露光までの経過時間 T_{meas} を示し、縦軸は積分光強度を示す。ここで、縦軸は、エキシマレーザ光照射前の値を1として規格化した。図中、Taは430~470nmの光、Tcは515~585nmの光の反射率である。また T_c/T_a はこれらの反射率の比である。Ta、Tcともエキシマレーザ光照射後、40nsまで減少し、その後Aは減少、Tcは増加していく。 T_c/T_a は40nsまではほぼ一定で、その後増加していく。Ta、Tc、 T_c/T_a とも T_{meas} が140ns以降ではほぼ一定となる。

【0025】これから、40nsまでのTaまたはTcの値を、シリコンの溶融深さの判定に用いることができる。また、その後のTa、Tcの値を、結晶化度の判定に用いることができる。TaとTcの両方を観測し、 T_c/T_a を結晶とアモルファスの比率の判定に、TcとTaの平均値を溶融深さの判定に用いれば、より的確である。さらに、実験によると、例えばAが0.85に到達する時間、Tcが1.15に到達する時間、または T_c/T_a が1.35に到達する時間を用いて、結晶化時

間とすることが可能である。同様に、 T_a と T_c の平均値が1.05まで減少する時間によって、固化時間とすることが可能である。また、レーザ光を多重照射して段階的に結晶化させる場合には、閾値をこれより小さい値にして、所望の結晶度が得られているかを判定することも可能である。さらにまた、 T_a 、 T_c 、 T_c/T_a の各軌跡の傾斜を以って、結晶化速度や固化速度を求めることも可能である。図6は像の全体にわたる平均的な固化と結晶化の様子を示しているが、像内の微小領域に関しても同じ方法で結晶化と固化の様子を調べることが可能である。このように本発明によれば、レーザアニール結晶化過程において、シリコン膜の任意の領域における結晶化時間や固化時間、結晶化速度や固化速度を in situ に求めることが可能である。

【0026】次に、本発明の第3の実施例について、図1及び図7を用いて説明する。本実施例の装置構成は実施例2と同じである。本実施例は、シリコン膜6にエキシマレーザ1の光を多重照射する際、1照射毎の結晶度の変化を観測するようにしたものである。すなわち、所定の照射回数に到達するまで、ステージ7を停止させておき、同一個所の像を観測するものである。

【0027】図7はシリコン膜の同一個所にエキシマレーザ光を多重照射した際のエキシマレーザの波長と反射率を示す特性図であり、結晶化の進行の度と反射スペクトルとの相関を示す。図において、横軸はエキシマレーザの波長 λ (nm) を示し、縦軸は反射率を示す。また、曲線71は大粒径結晶の場合の反射率を、曲線72は小粒径結晶の場合の反射率を、曲線73はアモルファスの場合の反射率を示す。図7から分かるように、アモルファスから結晶に移行することで、エキシマレーザの波長 λ が490 nm以下では大粒径結晶及び小粒径結晶の反射率が低下し、490～560 nmでは反射率がアモルファスより増加するの、上記各実施例と同様である。図7ではさらに追加してエキシマレーザ光を照射すると、490 nm以下で反射率が増加に転じ、490～560 nmで減少に転じる。一方、560 nm以上の波長では、小粒径から大粒径に向って反射率が低下する。これは、レーザ光の追加照射により結晶粒子の融合が起り大粒径化することで、膜中の干渉などの影響によりスペクトルが変わるためである。

【0028】本実施例では、560 nm以上の波長領域の反射率と、400～490 nmまたは490～560 nmのいずれかの波長領域の反射率とを測定することにより、アモルファスの領域、結晶化の始まった領域、及び融合により大粒径化した領域を識別することができる。

【0029】また、実施例1と同様、シリコン膜の膜厚や下地基板の光学特性が異なる場合は、これらの光学的性質に応じた波長領域で測定を行えばよい。

【0030】また、特に図示しないが、図6同様、レー

ザ光照射からの経過時間に伴う反射率の変化を求めることにより、結晶の融合時間を求めることも可能である。

【0031】以上のように、本実施例では、シリコン膜のアモルファス領域、小粒径結晶領域、及び大粒径結晶領域を識別することができる。

【0032】以下、本発明の第4の実施例について、図8及び図9を用いて説明する。図8は光検出器で露光された反射像であり、図8(a)は光源9として T_c を用いた場合の反射像であり、図8(b)は図8(a)を2値化処理した場合の反射像である。図8(a)は照射光が515～585 nmの光(T_c の光)である場合の反射像であり、図9より明らかなように、図の右側が左側より明るいことがわかる。これから、右側の方が結晶度が高いことがわかる。図8(b)は図8(a)を、第2の実施例の結果に基づき、積分光強度(照射前を1とした場合の強度)が1.15以上の領域が白、それ以下の領域が黒となるよう、2値化処理したものである。白の領域が結晶、黒の領域がアモルファスに対応し、2つの領域の境界が識別できる。この処理は、エキシマレーザ光照射後のどの時間に取得した像においても可能である。

さらに、エキシマレーザ光照射後の時間 T_{meas} に伴う境界の移動を調べることにより、結晶化速度を求めることも可能である。

【0033】レーザ光を多重照射して段階的に結晶化させる場合、閾値を1.15より小さい値にして、低結晶度部と高結晶度部とを識別することも可能である。上記の結晶度分布の解析及び結晶化速度の算出は、430～470 nmの光(T_a の光)の反射像を用いても行うことが可能である。第2の実施例の結果から閾値を0.85とすれば、アモルファス領域と結晶領域との識別が可能である。

【0034】また、第2の実施例の結果から容易に考えられるように、515～585 nmの光と430～470 nmの光との強度比の像を用いても、結晶度分布の解析及び結晶化速度の算出が可能である。この場合、閾値を1.35とすればよい。さらにまた、溶融深さの分布を求めることや、溶融部と固化部との境界を求めること、固化速度を求めることも、以上の議論から容易に考えられることである。

【0035】図9はエキシマレーザ光照射した場合のシリコン膜状態を示す模式図である。図9(a)はガラス基板にシリコンのアモルファス膜及び結晶膜を形成した場合の模式図、図9(b)はエキシマレーザ光を照射してアモルファス膜の一部を溶融した場合の模式図、図9(c)は溶融されたアモルファスが結晶化する場合の模式図、図9(d)は溶融されたアモルファスが結晶となった状態を示す模式図である。図9(a)に示すように、91はガラス基板上に形成されたアモルファスであり、92はエキシマレーザを照射することによって形成された結晶部分である。このアモルファス91と結晶部分92の

間にエキシマレーザ光を照射すると、図 9 (b) に示すように、レーザの幅に相当する部分は溶融する。93 は溶融部分を示す。溶融されたアモルファスは、周囲から冷却され、図 9 (c) に示すように結晶化される。94 は新たに結晶化された結晶部を示す。更に時間が経過すると、溶融部分 93 全てが図 9 (d) に示すように結晶化される。このように、エキシマレーザ光の照射に伴い溶融が起こり、これが時間とともに固化した部分が結晶となっていくことがわかる。

【0036】このように、本発明によれば、レーザアニール結晶化過程において、レーザ照射後の任意の時間における、シリコン膜表面の結晶化度や溶融深さの分布を *in situ* に求めることができ、さらに結晶部 93 とアモルファス部 91 の境界や溶融部と固相部との境界を *in situ* に求めることができる。

【0037】以下、本発明の第 5 の実施例について図 10 を用いて説明する。図 10 は本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザ照射及び観測装置の第 5 の実施例に用いる構成図である。図において、11a、11b は結像レンズ、12a、12b は光検出器、13 はビームスプリッタ、14a、14b はバンドパスフィルタである。他の構成要素で図 10 の実施例と同じものに対しては同一の符号を付け、その説明を省略する。

【0038】第 5 の本実施例では光検出器 12a、12b の 2 台用い、バンドパスフィルタ 14a と 12b とで異なる帯域の光を通過させるようにしたものである。光源 15 は白色光源とし、14a と 14b の帯域は図 2 の Ta 及び Tc とした。これにより、2 つの波長領域での反射率が同時観測、測定できるので、第 2 の実施例 2 及び第 3 の実施例で述べた、515 ~ 585 nm の光と 430 ~ 470 nm の光との強度比を求めることがより迅速に行える。

【0039】本実施例により、第 1 実施例 ~ 第 4 実施例と同じ効果が得られるのは、勿論のことである。

【0040】次に、本発明の第 6 の実施例を、図 11 を用いて説明する。図 11 は本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザ照射及び観測装置の第 6 の実施例に用いる構成図である。図において、光検出器 12a、12b を、イメージインテンシファイヤ付 CCD から、イメージインテンシファイヤの無い CCD に置き換え、光源 9 をパルスレーザ 92 に置き換えたものである。他の構成要素は図 10 と同じであり、同じ符号を付け、その説明を省略した。イメージインテンシファイヤの無い CCD 検出器 12a、12b では、ns オーダのゲートをかけることはできないが、ns オーダのパルス幅のパルスレーザ 92 を光源として用いることにより、上の各実施例と同様、ns オーダの時間分解能で光の反射率を *in situ* に求めることが可能である。なお、1 次元の分布情報だけでよい場合は、フォトダイオードアレイで代用できることは勿論である。

【0041】以下、第 7 の実施例について、図 12 を用いて説明する。図 12 は本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザ照射及び観測装置の第 7 の実施例に用いる構成図である。本実施例では、光検出器 12a、12b として、フォトダイオードまたはフォトマルチプライヤを用いている。15 はオシロスコープである。本実施例では遅延信号発生器 8 からのゲート信号 G2 をオシロスコープのトリガ入力信号とし、これを時間原点として光検出器 12a、12b の信号を観測している。これにより、1 四のエキシマレーザ光照射で、図 6 と同じデータを取り込むことができる。また、フォトダイオードまたはフォトマルチプライヤとオシロスコープを組合せる代りに、ストロークカメラを用いれば、1 次元の分布または面分布の時間変化を追跡することができる。これにより、図 5 のデータを 1 回のエキシマレーザ光照射で得ることができる。本実施例により、上記の各実施例と同じ効果が得られるのは、勿論のことである。

【0042】以下、図 13 をもって本発明の第 8 の実施例について説明する。図 13 は本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザ照射及び観測装置の第 8 の実施例に用いる構成図である。図において、101 は穴開き対物レンズである。図 1 または図 2 の構成要素と同じものについては同一の符号を付け、その説明を省略する。本実施例では、図 1 の対物レンズ 10 を穴開き対物レンズ 101 に置き換え、光源 9 からの光をビームスプリッタ 13 で反射させ、更に反射板で反射してシリコン膜 6 上に照射している。エキシマレーザ源 1 からの光は、穴開き対物レンズ 101 の穴を通してシリコン膜 6 に照射されている。この構成によれば、対物レンズの開口数を大きくできるため、シリコン膜の像を観測する際の解像度を高くすることができる。これにより、エキシマレーザアニールによる結晶化過程を *in situ* に追跡することが可能である。

【0043】次に、本発明の第 9 の実施例について、図 14 を用いて説明する。図 14 は本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザ照射及び観測装置の第 9 の実施例に用いる構成図である。図において、92 はパルスレーザ、16 はノッチフィルタ、17 は分光器またはバンドパスフィルタである。図 1、図 10 または図 11 の構成要素と同じものについては同一の符号を付け、その説明を省略する。本実施例では、パルスレーザ 92 をシリコン膜 6 に照射して生じたラマン散乱光を、分光器またはバンドパスフィルタ 17 と光検出器 12 で観測するものである。分光器またはバンドパスフィルタ 17 は、 5.21 cm^{-1} の結晶シリコンのラマン光または、 480 cm^{-1} のアモルファスシリコンのラマン光を通過させるように設定する。エキシマレーザ光の照射時刻からラマン散乱光の観測までの経過時間については、実施例 1 で述べた反射光観測について Tmeasure と同じである。これにより、反射光像観測の場合と同様、レーザア

ニール結晶化過程における、シリコンのラマン光の変化を追跡できる。ラマン光を観測することにより、結晶化度や結晶方位、粒径、表面凹凸を知ることができる。17をバンドパスフィルタとすれば、シリコン膜6からのラマン光の像を得ることも可能である。このように、本実施例によれば、レーザアニール結晶化過程における、結晶化度や結晶方位、粒径、表面凹凸の変化を in-situ に追跡することが可能である。

【0044】また、本実施例で、分光器またはバンドパスフィルタ17の入射側に偏光子を入れれば偏光ラマン測定を行なうことも可能である。これにより、(111) 配向の(220) 配向に対する比率が30%以上となるように、エキシマレーザの出力を制御することもできる。

【0045】以下、本発明の第10の実施例について、図1を用いて説明する。本実施例では、光源9からシリコン膜6に入射される光路と、シリコン膜6から光検出器12に射出される光路とが、正反射の関係にならないように配置する。すなわち、試料を暗視野照明する。これにより、シリコン膜6の粒界や凹凸、結晶核の生成個所、異常結晶成長などを検出することが可能である。また、光源9を消灯すれば、シリコン膜6からの放射を光検出器12により検出することも可能である。これから、シリコン膜6の温度を求めることができる。さらにまた、図示しないが、光源9からの光がシリコン膜6及び基板5を透過した光路上に、対物レンズ10、結像レンズ11、及び光検出器12を置けば、シリコン膜6の透過率を観測することも可能である。この透過率からもまた、シリコンの結晶化に関する有用な情報が得られる。さらにまた、上記の各実施例で述べた、反射率、ラマン散乱、放射、透過率の観測を組合せて、シリコン膜6の状態を総合的に観測することも可能である。このように、本実施例によれば、レーザアニール結晶化過程における、粒界や凹凸、結晶核の生成個所、異常結晶成長、温度などを in-situ に追跡することが可能である。

【0046】以下、本発明の第11及び第12の実施例について、図15〜20を用いて説明する。図15は本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザ照射及び観測装置の第11の実施例に用いる構成図である。図において、1はエキシマレーザ、3はビームホジナイザ、4はレーザ照射光学系、5は基板、6はシリコン膜、7はステージ、21はレーザコントローラ、22は可変アッテネータ、23はエキシマガス、24はバルブ、25は排気ポンプ、26はヴァルヴ、PDはフォトダイオードである。図の実施例では、エキシマレーザの強度はフォトダイオードによって電圧として検出され、レーザコントローラ21に供給される。コントローラ21はエキシマレーザの強度に応じて可変アッテネータ22を制御する。可変アッテネータ22としては、例え

ば、レーザの透過量を徐々に変えることができるフィルタで構成し、レーザコントローラ21の出力によって、可変アッテネータ22を移動させてレーザの透過量を制御するようにしても良い。レーザコントローラ21で制御が出来ないほどエキシマレーザの強度が少なくなった場合には、レーザコントローラ21からの出力によって、ヴァルヴ26を開けて排気ポンプ25でエキシマレーザ1のチャンバ内のエキシマガスを排気し、ヴァルヴ24を開けてエキシマガス23をチャンバからエキシマレーザ1のチャンバに供給する。このようにすることによって、再びレーザ強度を増すことができる。

【0047】図16は本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザ照射及び観測装置の第12の実施例に用いる構成図である。図において、図15と同じ構成要素については、同一の符号を付しその説明を省略する。図において、31はレーザチューブであり、本実施例では、エキシマレーザ1のチャンバ内にレーザチューブ31とレーザコントローラが備えられている。

【0048】また、図中23a、23b、23c、23dは各々HCl、Xe、Ne、Heのガスで、24a〜24dは各ガスに対応するヴァルヴである。24a〜24dの各ヴァルヴを個別に開閉することにより、レーザチューブ31内の各ガス成分の分圧を制御可能である。これにより、ガス成分の分圧が経時的に変化して、レーザ光の時間プロファイルが変化しても、PDでモニタした時間プロファイルをもとにレーザコントローラ21により各ガス成分の分圧を制御して、レーザ光の時間プロファイルを元に戻すことが可能である。

【0049】図17はレーザ光の時間プロファイルの他の制御方式を示す構成図である。図において、レーザ光の時間プロファイルはレーザコントローラ21によって制御される。HVは高電圧電源、Sはスイッチ、Cはキャパシタ、Lはインダクタンス、Rは放電電極である。スイッチSとしてはサイラトロンなどが用いられる。キャパシタC及びインダクタンスLを変え、放電回路の定数を変化し、レーザ光の時間プロファイルが変化する。したがって、フォトダイオードPD(図16参照)で観測した時間プロファイルをレーザコントローラ21によりC及びLにフィードバックすることにより、レーザ光の時間プロファイルの経時変化を打ち消すことが可能である。

【0050】図18はエキシマレーザの時間に対する発振強度特性を示す波形図であり、横軸に時間T(ns)を示し、縦軸はレーザの強度をフォトダイオードPDを用いて検出した電圧V、Intensity(V)を示す。また、破線は発振開始直後の発振強度特性を示し、実線は10時間経過後の発振強度特性を示す波形図である。図18において、11は第1番目、12は第2番目のピークの強度を示す。通常エキシマレーザは放電回路にキャパシタ、インダクタを用いているため、図18に

示すように出力光波形に複数のピークが表れる。ここで、発振開始直後と10h経過後との比較から明らかに、第2ピークの強度12が、経時的に大きくなっていくことがわかる。これはエキシマガスの劣化とともに、放電空間のキャパシタンスや直流抵抗が変わっていくため、放電回路の時定数が変わっていくためと考えられる。この出力光波形の変化は結晶化されたシリコン膜の結晶性に影響を与える。

【0051】本実施例では、図15、図17に示すように、エキシマレーザ1から出た光がシリコン膜6に到達するまでの光路中に可変アッテネータ22を入れている。そして、ピーク強度11、12が変化するに伴い、可変アッテネータ22の透過率を変えるようにしているため、時間が経過しても結晶粒径はあまり変化しない。また、上記で述べたように、放電回路の時定数にフィードバックを行うことによって、発振ピークが発生する時間を一定にすることもできるため、結晶粒径への影響を低減することができる。本実施例により、長時間にわたって結晶粒径を一定に保つことが可能となり、液晶表示素子などの多結晶シリコン膜における粒径のばらつきを低減することができる。

【0052】以下、本発明の第13の実施例を図19(a)、(b)、図20、図21、図23、図24で説明する。

【0053】図19は薄膜トランジスタの断面構造を示す断面図及びシリコン膜が形成された段階の断面図であり、図19(a)は薄膜トランジスタの断面図、図19(b)はシリコン膜が形成された段階の断面図である。左側はpチャンネル、右側はnチャンネルである。Uは下地膜、Sはソース、Dはドレイン、Gはゲート、S1はシリコン膜、LはLDD、Oはゲート酸化膜、Mは層間膜、SIGは信号線、Pは保護膜である。図19

(b)は図19(a)のシリコン膜S1が形成された段階の断面図である。5は基板、6は下地膜、6はシリコン膜である。

【0054】本実施例では図19(b)のシリコン膜6にエキシマレーザ光を照射して、結晶化させた例を示す。

【0055】図20はシリコン膜に照射されるレーザ光のエネルギー密度を変化させた場合の、シリコン膜の結晶状態を原子間力顕微鏡で観察した図であり、図20

(a)は $380\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合を、図20(b)は $385\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合を、図20(c)は $390\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合を、図20(d)は $395\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合を、図20(e)は $400\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合を、図20(f)は $405\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合を示す。

図20(a)～(f)は図19(b)のシリコン膜6に照射されるレーザ光のエネルギー密度を各々、380、385、390、395、400、405 mJ/cm^2 に設定した場合の、シリコン膜の結晶状態を原子間力顕微

鏡で観察したものである。図20の視野は $10\text{ }\mu\text{m}$ である。レーザ光の照射は、図20(a)～(f)の各図の左側から右側に向かって長方形のレーザ光を走査しながら行った。レーザ光の走査速度は、40パルスの発振の間に視野の左端から右端までレーザ光が通過するようにした。また各データ間でレーザの経時変化の影響が現れないよう、レーザ光の発振開始後約10分以内に全試料の結晶化を完了させた。この像の、白く見える線を粒界と考え、粒径を算出した。

【0056】図21はレーザ光のエネルギー密度に対する平均粒径を示す特性図であり、横軸にエネルギー密度 mJ/cm^2 を縦軸に平均粒径 $R(\text{ }\mu\text{m})$ を示す。照射エネルギーが大きくなるに従い、 $390\sim 395\text{ mJ}$ までは平均粒径 R が大きくなっていくが、それより大きいエネルギーでは平均粒径 R が小さくなっていく。

【0057】図22は固化時間に対する平均粒径を示す特性図であり、横軸は固化時間 (ns) を、縦軸は平均粒径 $R(\text{ }\mu\text{m})$ を示す。結晶化を行うにあたり、第2の実施例で述べた方法で固化時間を求め、これと上記粒径 R との相関をプロットしたものである。これらから、粒径を最大にするためには固化時間を $43\sim 45\text{ ns}$ とすればよいことがわかった。これは、図18に示した第1ピークのパルス幅とも一致する。これらから、結晶化に寄与するのは主に第1ピークと考えられる。

【0058】図23はレーザ発振開始からの経過時間をともなう粒径の変化と第1のピーク強度の変化を示す特性図であり、横軸に時間 (Hour) を、縦軸に第1のピーク強度11、平均粒径 R を示す。図において、破線は平均粒径 R を示す。平均粒径 R は発振開始直後から増加した後、減少に転じた。図23の実線は、図18に示した第1のピーク強度11の経時変化を示したものである。このようにエキシマガスの劣化にともない、第2ピークの強度12が増加して、第1ピークの強度11が減少することがわかる。また、これから、結晶粒径 R に影響を与えるのは、主として第1ピーク強度11と考えられる。つまり、レーザ光の時間プロファイルの最初から 40 ns 以内の強度を用いてレーザ光の照射強度を管理すれば良いことがわかる。

【0059】図24はシリコン膜に照射されるレーザ光の第1ピーク強度が一定となるよう、光アッテネータ22を制御した場合のアッテネータの透過率と平均粒径を示す特性図であり、横軸に時間 (Hour) を、縦軸に透過率 (%)、平均粒径 R を示す。図24は、図16に示す装置を用い、フォトダイオードPDDで第1ピーク強度11をモニタし、シリコン膜6における第1ピーク強度が一定となるよう、光アッテネータ22を制御した結果を示すもので、実線は光アッテネータ22の透過率を、破線は平均粒径 R を示す。図に示すように、経時変化にともない第1ピークが減少するのを補償するように光アッテネータの透過率を上げている。これにより、図

の破線のように、結晶粒径をほぼ一定とすることができた。

【0060】また、図24から明らかなように、結晶シリコン膜の結晶状態を原子間力顕微鏡で観察したところ、全時間において図20の $390\text{ mJ}/\text{cm}^2$ と同様な表面状態が観察された。これから、シリコン膜に照射される第1ピーク強度が一定となるようフィードバックをおこなうことで、ほぼ一定な結晶粒径を得られることがわかった。

【0061】図25はシリコン膜に照射するレーザー光のエネルギー密度に対する図20の結晶粒径のヒストグラムであり、縦軸は粒径毎の占有面積を、横軸は粒径毎の占有面積比を示す。図25(a)は $380\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合、図25(b)は $385\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合、図25(c)は $390\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合、図25(d)は $395\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合、図25(e)は $400\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合、図25(f)は $405\text{ mJ}/\text{cm}^2$ の場合を示す。エネルギー密度が 380 から $390\text{ mJ}/\text{cm}^2$ へと大きくなっていくに従い、 $0\text{ }\mu\text{m}$ 付近のピークが減少し、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 付近に新たなピークが生じる。これは、エネルギー密度が大きくなるに従い結晶の融合が起り、大粒径の結晶が生成されるためである。平均粒径が大きしかも粒径ばらつきが小さいと考えられるのは、上記で得られた $390\text{ mJ}/\text{cm}^2$ のエネルギー密度のもので、結晶粒径の平均値に対する標準偏差の比が、正方向で 10.0% 、負方向で 5.0% 以下となっている。また、微小粒径の結晶が存在すると素子特性を低下させる要因となるが、 $390\sim 400\text{ mJ}/\text{cm}^2$ のエネルギー密度では、粒径が $0.25\text{ }\mu\text{m}$ 以上の結晶が 90% 以上を占め、また $0.25\text{ }\mu\text{m}$ 以下の結晶が 5% 以下であるので、得られた薄膜トランジスタは良好な素子特性が得られる。

【0062】そして好ましくは、薄膜半導体の粒径が $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上である結晶の占める面積が 90% 以上であり、また、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上の結晶であって、結晶粒径の平均値に対する標準偏差の比が、正方向で 10.0% 、負方向で 5.0% 以下であれば、薄膜トランジスタの特性は更に向上する。更に好ましくは、薄膜半導体の平均粒径が $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 以上であり、かつ、その粒径が $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 以下の結晶が占める面積が 0.1% 以下であるようにすれば、薄膜トランジスタの特性、特に電子移動度が単結晶の場合に限りなく近づいた極めて良好な特性を示す。

【0063】上記に説明したように、本発明によれば、多結晶シリコン膜の粒径が大きく、均一度が高いものが得られる。これを液晶ディスプレイ等の薄膜トランジスタに用いることにより、電子移動度等の性能の良好な製品を得ることが出来る。

【0064】ところで、上記各実施例は、シリコン膜について適用したものであるが、同じ結晶構造をもつゲル

マニウムや、シリコンとゲルマニウムの混合物、さらにこれらの物質に種々の元素を添加した膜などについても同様の結果が得られることは勿論である。

【0065】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、レーザー光によるシリコン膜の結晶化過程を *in situ* に観測することが可能である。また、薄膜トランジスタなどの品質向上や品質管理手法の確立に寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザー照射及び測定装置の第1の実施例を示す構成図及びタイミングチャートである。

【図2】シリコン膜の結晶化状態を示す図である。

【図3】シリコン膜の反射スペクトル及び光源の光のスペクトルを示す特性図である。

【図4】図1(a)に示す装置を用いた測定動作の一実施例を示すフローチャートである。

【図5】測定したデータの一実施例を示す図である。

【図6】図5の反射光強度を像の全体にわたって積分した値を示した特性図である。

【図7】シリコン膜の同一個所にエキシマレーザー光を多重照射した際のエキシマレーザーの波長と反射率を示す特性図である。

【図8】光検出器で露光された反射像である。

【図9】エキシマレーザー光照射した場合のシリコン膜状態を示す模式図である。

【図10】本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザー照射及び観測装置の第5の実施例に用いる構成図である。

【図11】本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザー照射及び観測装置の第6の実施例に用いる構成図である。

【図12】本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザー照射及び観測装置の第7の実施例に用いる構成図である。

【図13】本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザー照射及び観測装置の第8の実施例に用いる構成図である。

【図14】本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザー照射及び観測装置の第9の実施例に用いる構成図である。

【図15】本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザー照射及び観測装置の第11の実施例に用いる構成図である。

【図16】本発明による多結晶シリコン薄膜製造に用いるレーザー照射及び観測装置の第12の実施例に用いる構成図である。

【図17】レーザー光の時間プロファイルの他の制御方式を示す構成図である。

【図 18】エキシマレーザの時間に対する発振強度特性を示す波形図である。

【図 19】薄膜トランジスタの断面構造を示す断面図及びシリコン膜が形成された段階の断面図である。

【図 20】シリコン膜に照射されるレーザ光のエネルギー密度を変化させた場合の、シリコン膜の結晶状態を原子間力顕微鏡で観察した図である。

【図 21】レーザ光のエネルギー密度に対する平均粒径を示す特性図である。

【図 22】固化時間に対する平均粒径を示す特性図である。

【図 23】レーザ光発振開始からの経過時間にもともなう粒径の変化と第 1 のピーク強度の変化を示す特性図である。

【図 24】シリコン膜に照射されるレーザ光の第 1 ピーク強度が一定となるよう、光アッテネータ 22 を制御した場合のアッテネータの透過率と平均粒径を示す特性図*

* である。

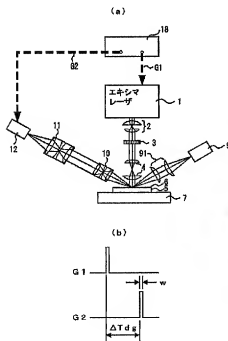
【図 25】シリコン膜に照射するレーザ光のエネルギー密度に対する図 20 の結晶粒径のヒストグラムである。

【符号の説明】

1…エキシマレーザ、2…ビームエキスパンダ、3…ビームホモジナイザ、4…レーザ照射光学系、5…基板、6…シリコン膜、7…ステージ、8…遅延信号発生器、9…光源、9 1…照明光学系、9 2…パルスレーザ、1 0…対物レンズ、1 0 1…穴開き対物レンズ、1 1、1 1 a、1 1 b…集光レンズ、1 2、1 2 a、1 2 b…光検出器、1 3…ビームスプリッタ、1 4 a、1 4 b…バンドパスフィルタ、1 5…オシロスコープ、1 6…ノッチフィルタ、1 7…分光器またはバンドパスフィルタ、G 1、G 2…ゲート信号、1 a…アモルファスシリコンの反射率スペクトル、1 c…結晶シリコンの反射率スペクトル、T a、T c…照明光強度スペクトル。

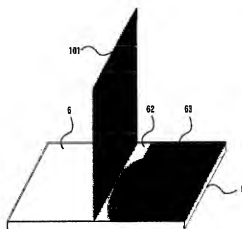
【図 1】

図 1



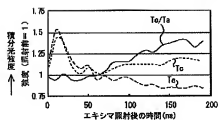
【図 2】

図 2



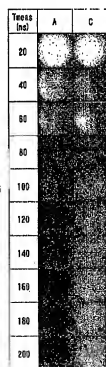
【図 6】

図 6



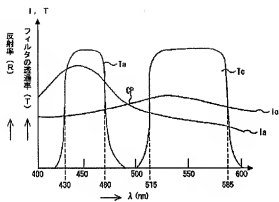
【図 5】

図 5



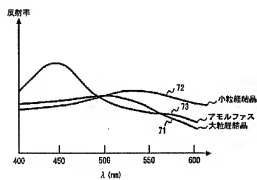
【図3】

図3



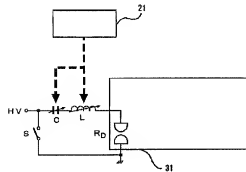
【図7】

図7



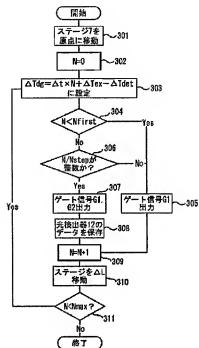
【図17】

図17



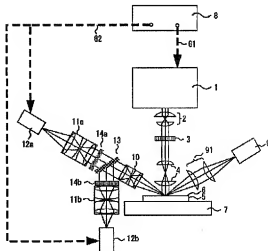
【図4】

図4



【図10】

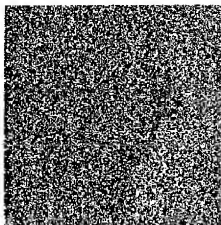
図10



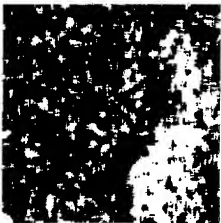
【図8】

図8

(a)

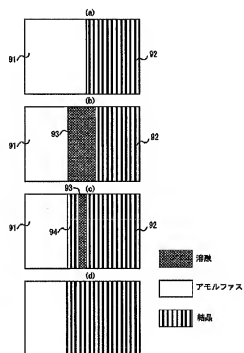


(b)



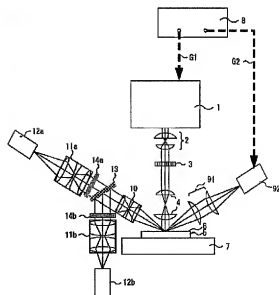
【図9】

図9



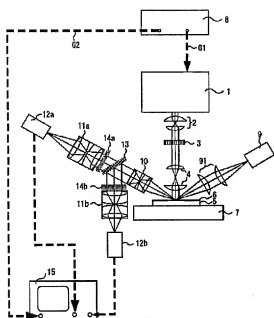
【図11】

図11



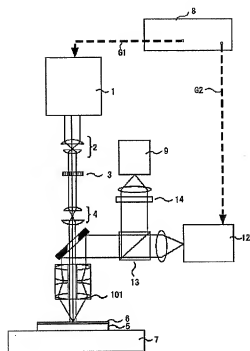
【図12】

図12



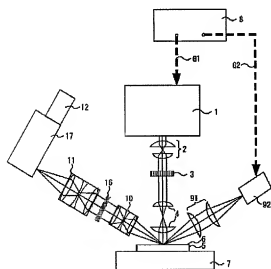
【図13】

図13



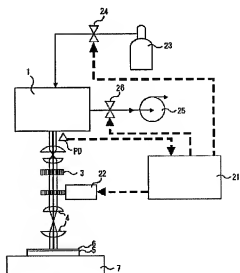
【図14】

図14



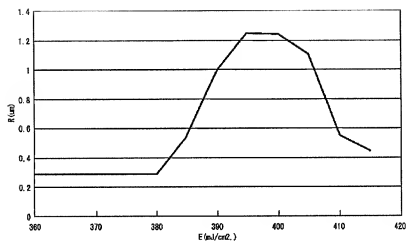
【図15】

図15



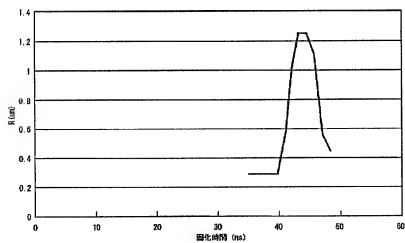
【図21】

図21



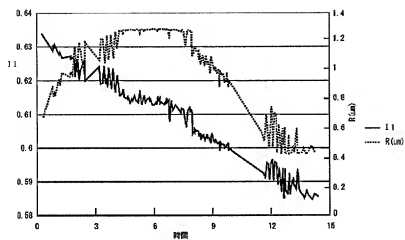
【図22】

図22



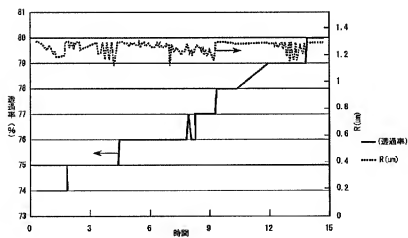
【図23】

図23



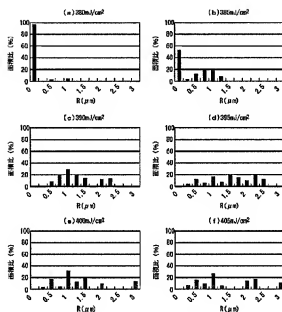
【図24】

図24



【図25】

図25



フロントページの続き

- (72)発明者 田村 太久夫
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内
- (72)発明者 波多野 睦子
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- (72)発明者 武田 一男
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

- (72)発明者 折付 良二
千葉県茂原市早野3300番地 株式会社日立製作所ディスプレイグループ内
- (72)発明者 斉藤 雅和
千葉県茂原市早野3300番地 株式会社日立製作所ディスプレイグループ内
- F ターム(参考) 5F052 AA02 BA01 BA02 BB07 DA02
DA03 JAO1
5F110 AA16 AA24 BB01 CC02 DD02
DD11 FF02 GG01 GG02 GG03
GG13 GG16 HH15 NN01 NN03
PP03 PP05 PP06